

超音波の“見えない手”を使って 小さな物体を操作する技術

材料技術部門

当センターでは、(国研)産業技術総合研究所等の技術シーズを地域企業へ展開するため、超音波を応用した研究開発を行っています。2つ以上の方向から進んでくる強い超音波を重ね合わせると、波が大きく振動する点(腹)とまったく振動しない点(節)が発生します。波の性質である腹や節を利用して、小さな物体を操作する「超音波マニピュレーション」の研究事例を紹介します。

■ 超音波を応用した“見えない手”

超音波はヒトの耳に聞こえない周波数が高い音で、光や電波と同じ「波」の性質を持っています。空気中よりも、水や金属などの物質中が伝わりやすいという特徴があり、伝搬速度は、空気中では約340 m/s、水中では約1,500 m/sです。

振動子から発生させた超音波とその反射波を重ね合わせると、小さな物体を捕捉し、保持したり、操作することができます。図1は、超音波を使って対象物を捕捉するイメージ図です。

対象物の大きさや動かし方は、超音波の強さ、周波数(波長)、振動子と反射板の位置関係などによって変わります。これは「超音波マニピュレーション」と呼ばれる技術で、非接触で物体を操作できる特徴があり、様々な産業応用が期待できます。

■ 空中超音波による光学部品の非接触保持

凸-平の小型レンズ(直径 ϕ 6.0 mm、厚さ2 mm、重さ93 mg)を開放した大気中で非接触保持する実験の様子を図2に示します。振動子は超音波ホーン(振動放射面 ϕ 25 mm、共振周波数28 kHz、振動振幅30 μ m_{pp})、反射板は振動放射面に向かって凹面形状(アクリル製、 ϕ 50 mm、曲率半径51.90 mm、中央部に ϕ 2 mmの穴あき)をレンズホルダーに取り付けています。振動子と反射板は約33 mm離して配置しています。超音波の力によって、超音波の波長に比べて小さなレンズを保持、空中に浮揚させることができます。

超音波が伝搬する中で、小型レンズが受ける力の様子を有限要素法で解析した結果、レンズが受ける力はレンズの面形状には影響されず、レンズの大きさによって伝搬の様子が大きく変化することがわかりました。操作対象のレンズの大きさが変わると、超音波振動の強さ、振動周波数、振動子と反射板の位置などを調整する必要があります。ちなみに、図2の実験では重さ165 mgのボールレンズ ϕ 6.0 mm)まで保持することが可能でした。

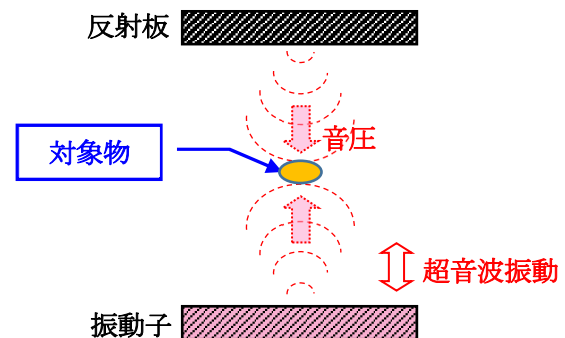


図1 超音波を使って物体を捕捉するイメージ図

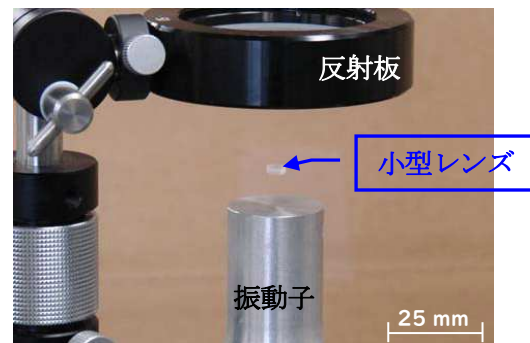


図2 小型レンズが浮揚している様子

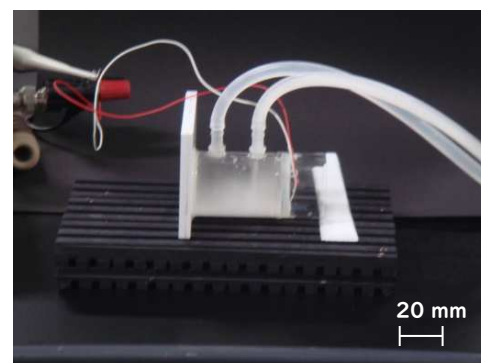


図3 水中超音波による微粒子の沈殿分離実験

有限要素法による解析を活用することにより、実験の条件出しを短時間で効率良く行うことができます。光学部品その他、例えば、液滴、高温や低温環境下での小さな物体、接触を嫌う物体などへの応用が考えられます。

■ 水中超音波による微粒子の沈殿分離

超音波マニピュレーション技術を使うと、流動中の液体に含まれる微粒子を非接触で操作することも可能です。水中での微粒子の沈殿分離実験の写真を図3、概略図を図4に示します。

図3の写真中央、アクリルのパイプ状容器(内径φ26 mm、長さ40 mm)の上部2ヵ所にシリコンホースを取り付け、微粒子を含む水は右側のホースからパイプ状容器に入り、左側のホースから出ていきます。パイプ状容器の右端には振動子(円形板状、直径φ20 mm)、左端にはセラミックス製の反射板を取り付けてあります。パイプ状容器の軸方向に向かって、右から左に超音波を発生させ、それに沿って微粒子を含む水(10 μm以下のガラスビーズ、濃度1wt%)、約150 mLを平均流速0.31 mm/sで流します。容器内の水を完全に蒸発させた後、沈殿分離した微粒子の重さを測定しました。

振動子の周波数2.1 MHz、投入電力3 Wで実験した結果を表1に示します。パイプ状容器内に沈殿した微粒子の重さは、「超音波 無」では200 mg、「超音波 有」では1,160 mgとなりました。一方、パイプ状容器を通過して沈殿した微粒子の重さは、「超音波 無」では300 mg、「超音波 有」では27 mgとなりました。この結果から、超音波を用いることによって97.7%をパイプ状容器内に沈殿させ、取り出すことに成功しました。重さを測定できなかった残りの微粒子は、ホース内に残っていると考えられます。

■ 生体応用の可能性

淡水中の動物性プランクトンの観察実験では、素早く動き回る個体を超音波マニピュレーションにより捕捉静止させることで、狭い顕微鏡視野でも観察を可能にすることができました(図5)。超音波を解除すると、個体は再び元気に動きだしたことから、動物性プランクトンへのダメージは抑えられており、デリケートな生体を扱う技術などへの応用が期待できます。

■ 音場の様子の計測とシミュレーション、観察

超音波マニピュレーションの研究を進める上で、超音波の伝搬の様子を計測し、シミュレーションとの整合性を検証したり、普段は目に見えない伝搬の様子を可視化して実際に観察・検証するなどの基礎的な実験・研究も実施しています。

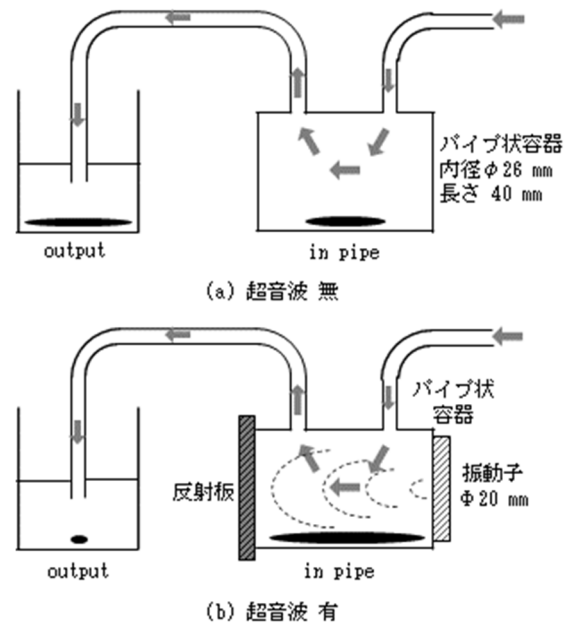


図4 水中超音波による微粒子の沈殿分離実験

表1 沈殿分離させた微粒子の重さ

超音波	(a) 無	(b) 有
in pipe	200 mg	1,160 mg
output	300 mg	27 mg
捕獲率	40.0%	97.7%

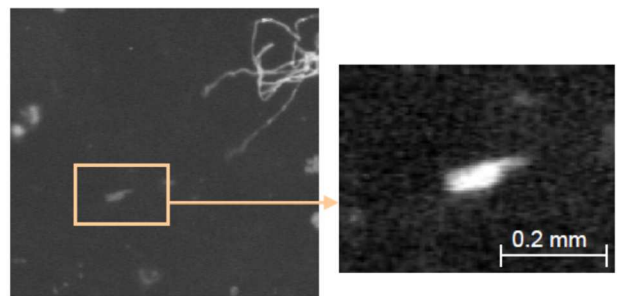


図5 超音波により捕捉したプランクトンの様子

■ 本技術のご利用・ご相談について

本技術は受託研究等で県内企業の皆様と一緒に実用化の可能性を探っていきたいと考えています。本技術以外にも超音波分野に関するご相談がございましたら、お気軽にお問い合わせ下さい。

今回ご紹介した研究内容の一部は、JST 研究成果展開事業 A-STEP 機能検証フェーズの支援を受けて実施したものです。

長野県工業技術総合センター
 材料技術部門 製品科学部 江口 穂正
 TEL:026-226-2107 FAX:026-291-6243
 E-Mail kogyoshiken@pref.nagano.lg.jp